

**Universidad Pública de Navarra**

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***Nafarroako Unibertsitate Publikoa***

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKO***

# Évaluation des critères de sectorisation actuels pour améliorer le drainage dans parcelles du secteur III du Canal de Navarre

presentado por

PABLO ENRIQUE PAZ  
(e)k

*aurkeztua*

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL  
*GRADUA NEKAZARITZAKO ELIKAGAIEN ETA LANDA INGURUNEAREN INGENIARITZAN*

June, 2017



## Abstract

In the design of irrigation facilities currently, the areas with drainage problems are not taken into account while sectorizing a plot. If these areas could be isolated in separate irrigation sectors, different irrigation treatment could be applied to prevent them from flooding and increase the yield of the crop in the plot.

For this purpose, plots that belong to the municipality of Artajona have been used. The chosen plots already had a sprinkler irrigation system and it has been studied the viability of a sectorization that isolates the areas of poor drainage.

In order to determine these zones within the plot, they have evaluated the images of the LANDSAT, MODIS and SENTINEL satellites, as well as the orthophotos of the Foral Community of Navarre. After the analysis of this images, feasible alternatives have been offered to traditional sectorization and to solve the problems of drainage in this type of plots.

## Key words

Irrigation, drainage, sectorization, satellite, orthophoto

## Résumé

Dans la conception des installations d'irrigation sur parcelle, on ne tiens pas en compte normalement la distribution des zones avec des problèmes de drainage pour établir la sectorisation du système. Si on pouvait isoler ces zones-ci, on pourrait appliquer un traitement hydrique différent et individualisé pour chaque secteur. De cette façon, on éviterait l'inondation des zones avec un drainage naturel insuffisant.

Pour cela, on a utilisé des parcelles de la coopérative d'Artajona qui ont déjà un système d'irrigation par aspersion et on a étudié la viabilité d'implanter une sectorisation qui isole les zones avec un mauvais drainage.

À la fin de déterminer ces zones à l'intérieur de la parcelle, on a évalué les images obtenues par les satellites LANDSAT, MODIS et SENTINEL ainsi que les orthophotos disponibles de la Communauté Foral de la Navarre. Depuis cette analyse-ci, on a offert des alternatives viables à la sectorisation traditionnelle et qui solutionnent la problématique du drainage dans ce type de parcelles.

## Mots clés

Irrigation, drainage, sectorisation, satellite, orthophoto

## Index

Abstract .....	2
Key words .....	2
Résumé .....	2
Mots clés .....	2
Index des figures .....	4
Index des tableaux .....	5
Introduction .....	6
Description du problème à étudier .....	6
Justification du rapport .....	6
Niveau de résolution .....	7
Objectifs .....	7
Matériel et méthodes .....	8
Situation actuelle et localisation .....	8
Canal de Navarre .....	8
Réseau de distribution et prises d'eau .....	8
Installation de l'irrigation par aspersion sur le terrain.....	8
Parcelles d'étude .....	9
Matériaux .....	15
Sources des images .....	15
Logiciels et applications .....	17
Méthodes d'analyse .....	18
Résultats .....	22
UR-29 .....	22
UR-101 .....	27
UR-49 .....	32
Analyse de résultats .....	35
Conclusions .....	36
Bibliographie .....	37

## Index des figures

Figure 1 : Situation de l'UR-29. Source : SITNA, 2013 .....	10
Figure 2 : Vue aérienne actuelle de l'UR-29. Source : Google Maps.....	11
Figure 3 : Scène de la conception originale de l'UR-29. Source : A.Nieves [Communication personnelle]. 30 mai 2017.....	11
Figure 4 : Situation de l'UR-49. Source : SITNA, 2013 .....	12
Figure 5 : Vue aérienne actuelle de l'UR-49. Source : Google Maps.....	12
Figure 6 : Scène de la conception originale de l'UR-49. Source : A.Nieves [Communication personnelle]. 30 mai 2017.....	13
Figure 7 : Situation de l'UR-101. Source : SITNA, 2013 .....	13
Figure 8 : Vue aérienne actuelle de l'UR-101. Source : Google Maps.....	14
Figure 9 : Scène de la conception originale de l'UR-101. Source : A.Nieves [Communication personnelle]. 30 mai 2017.....	14
Figure 10 : Distribution spatiale du temps de service des satellites LANDSAT. Source: USGS, 2016 .....	15
Figure 11 : Image aérienne de la péninsule ibérique. Source : Google Earth Engine, 2017 .....	19
Figure 12 : NDVI composite de 32 jours de la péninsule entre le 9/4/2017 et le 5/9/2017 LANDSAT. Source : Google Earth Engine, 2017.....	19
Figure 13 : NDVI MODIS de la Péninsule Ibérique de 29/04/2017. Source : Google Earth Engine, 2017.....	19
Figure 14 : Image aérienne de la municipalité d'Artajona. Source : Google Earth Engine, 2017	19
Figure 15 : NDVI composite de 32 jours de la municipalité d'Artajona entre le 9/4/2017 et le 5/9/2017 LANDSAT. Source : Google Earth Engine, 2017.....	19
Figure 16 : NDVI MODIS de la municipalité d'Artajona du 29/04/2017. Source : Google Earth Engine, 2017.....	19
Figure 17 : Image aérienne de l'UR-29. Source : Google Earth Engine, 2017 .....	20
Figure 18 : NDVI composite de 32 jours de l'UR-29 entre le 9/4/2017 et le 5/9/2017 LANDSAT. Source : Google Earth Engine, 2017 .....	20
Figure 19 : NDVI MODIS de l'UR-29 du 29/04/2017. Source : Google Earth Engine, 2017.....	20
Figure 20 : Clasificación de l'état des UR étudiées basées sur les orthophotos disponibles depuis 2003. Source: Élaboration personnelle .....	21
Figure 21 : Relation des orthophotos disponibles de l'UR-29. Source : SITNA, 2013 .....	23
Figure 22 : Conception proposée pour l'UR-29. Source: Élaboration personnelle. ....	24
Figure 23 : Relation entre les secteurs de l'UR-29 et les débits. Source: Élaboration personnelle. .....	25
Figure 24 : Relation des orthophotos disponibles de l'UR-101. Source : SITNA, 2013 .....	28
Figure 25 : Sectorisation de l'UR-101 avec le parcours en noir. Source: Élaboration personnelle .....	31
Figure 26 : Schéma de la section transversale du drainage sur terrain. Source : INTIA, 2015 ...	32
Figure 27 : Relation des orthophotos disponibles de l'UR-49. Source : SITNA, 2013 .....	34

## Index des tableaux

Tableau 1 : Relation des parcelles avec un mauvais drainage qui vont être étudiées. ....	10
Tableau 2 : Caractéristiques principales des satellites LANDSAT 4, 5, 7 et 8. Source: USGS, 2016 .....	15
Tableau 3 : Comparaison des principales caractéristiques de la Landsat, MODIS, SENTINEL et orthophotos. Source: (USGS, 2016, NASA, 2017a, 2017B, 2017c, SITNA, 2013) .....	18
Tableau 4 : Dates de vol des orthophotos des UR-29, 49 et 101. Source: IDENA, 2017 .....	20
Tableau 5 : Comparative entre le budget original et ceci de la nouvelle conception. Source : A. Nieves [Comunication personnelle]. 30 mai 2017; élaboration personnelle.....	26
Tableau 6 : Budget original de l'UR-101. Source : A. Nieves [Comunication personnelle]. 30 mai 2017.....	30

## Introduction

### Description du problème à étudier

Actuellement, un des problèmes les plus communs qui affectent à la productivité des cultures sur les parcelles est le mauvais drainage. Les causes peuvent être classées dans deux groupes ; selon son origine (naturelle ou artificielle) et selon le genre d'activité (active ou passive). On considère activités actives les apports excessifs d'eau comme, par exemple des pluies intenses, inondations ou des irrigations excessives. Par contre, on considère des activités passives quand ils y existent des obstacles dans le terrain comme des sols peu perméables, un mauvais fonctionnement du réseau de drainage ou des bouchons dans les sorties d'eau.

Quand on réalise l'installation d'un système d'irrigation par aspersion, il y a une augmentation de la productivité de la parcelle parce qu'on peut contrôler mieux la gestion de l'eau dans le sol et, pourtant, la culture ne souffre pas d'stress hydrique. Par contre, on potence le problème du drainage dans les zones avec plus de difficultés pour évacuer l'excédant d'eau dans le sol.

Pour la conception des secteurs d'irrigation et le tracé des canalisations, on tiens compte de la morphologie du terrain, l'optimisation de coûts, minimiser les pertes de charge et éviter, au tant que possible, les pannes qui soient en fonction du terrain ou en raison d'un mauvais design du système. Cependant, on ne tiens pas compte de l'adaptation des secteurs d'irrigation aux zones inondables des parcelles.

Dans ce rapport, on va essayer d'établir une méthodologie pour identifier ces zones et pouvoir les isoler dans quelques secteurs et, de cette façon, pouvoir avoir une gestion plus précise de l'irrigation de ces zones en les adaptant au mauvais drainage du sol et, comme ça, obtenir des meilleures productions.

Quand on réalise la sectorisation et design du système d'irrigation sur parcelle, l'objectif principal est assurer une bonne uniformité d'irrigation ( $>80\%$ ). Pour y arriver, on prend en compte plusieurs aspects pour optimiser le fonctionnement hydraulique et technique du système.

### Justification du rapport

À cause du changement climatique, le climat des régions tempérées est en train de devenir plus aride. Comme conséquence, les agriculteurs et les acteurs de l'agro constatent que les régions où c'est nécessaire d'avoir de l'irrigation additionnelle, se déplacent vers le nord. Ça veut dire que, aujourd'hui il y a un bon nombre de parcelles irriguées qui n'en avait pas besoin il y a quelques années pour obtenir le même rendement dans la récolte.

En raison de la sécheresse et de l'important coût des infrastructures qui font possible l'installation d'un système fiable sur parcelle, on cherche maximiser l'efficacité de l'irrigation. Au sein de la même unité d'irrigation, on peut différencier des zones qui souffrent de problèmes de drainage et des inondations dues aux facteurs pédologiques, orographiques ou à cause de la gestion des cultures. En conséquence, les besoins en eau de ces zones sont différents de celles qui ont un sol bien drainé et, par conséquent, ils nécessitent une gestion différente de l'eau.

Cette mesure entraînerait une augmentation de la production agricole dans la parcelle qui aurait une incidence positive sur le revenu pour les agriculteurs, sans tenir compte des possibles fluctuations sur le marché. Ce qu'on veut voir est si cette resectorisation tend à renchérir le coût d'exécution des travaux et si cette augmentation vaut la peine depuis un point de vue économique.

Parallèlement, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et les techniques de télédétection se développent de façon exponentielle et de plus en plus d'information est accessible au public comme des images de satellite et des images aériennes prises depuis un avions. Au travail, nous avons l'intention d'utiliser ces informations graphiques en utilisant des

applications en ligne et des programmes informatiques pour déterminer les avantages et les inconvénients de chacune des sources d'où ils viennent. Finalement, on veut voir si ce qui c'est la méthode la plus appropriée pour délimiter les zones liées à un mauvais drainage dans les parcelles d'étude.

### Niveau de résolution

Aujourd'hui, on ne fait face à ces enjeux en utilisant des techniques de télédétection. Lorsqu' on sectorise, on ne prend pas en compte les zones avec un mauvais drainage et, si on voulait dessiner une étude de la capacité de drainage de la parcelle, on commissionnerait une étude pédologique des terrains qu' on veut.

Si le projet d'installation de parcelle irriguée se mis en œuvre et il est prévu que la ferme peut avoir des problèmes de drainage, la solution retenue est généralement l'utilisation d'un drain, soit en profondeur soit de surface afin d'écouler l'eau vers les limites de la parcelle.

De plus, les nouveaux SIG en ligne s'utilisent actuellement pour des multiples études et recherches. Cependant, ils sont utilisés à une plus petite échelle, pour étudier les tendances du climat mondial, l'utilisation des terres ou d'autres aspects qui ne nécessitent pas une résolution spatiale aussi élevée. Dans les grandes parcelles, on utilise aussi les images des satellites pour surveiller le développement des cultures.

### Objectifs

- Evaluer la sectorisation et les critères actuels de design dans l'installation des systèmes d'irrigation sur terrain.
- Chercher des solutions qui résoudraient les enjeux en raison d'un mauvais drainage.
- Comparer les caractéristiques des images des principaux satellites et orthophotos pour définir la meilleure alternative à l'échelle de la parcelle.
- Présenter un scénario actuel des principaux outils disponibles pour effectuer une analyse spatiale d'un territoire.



## Matériel et méthodes

### Situation actuelle et localisation

#### Canal de Navarre

Tout le rapport se pose dans le contexte de l'infrastructure du Canal de Navarre. Le canal de Navarre est une conduite d'eau à ciel ouvert vise à réaliser la transformation pour irriguer 59,160 hectares de la zone moyenne et sud de la Navarre, ce qui augmente par conséquent la productivité dans les parcelles irriguées.

Le canal de Navarre est né dans le barrage d'Itoiz sur la rivière Irati et dispose d'une concession de 416 hm<sup>3</sup>. La construction et l'exploitation de l'infrastructure est gérée par la société « Canal de Navarra S.A. », créé en 2000 entre le Gouvernement espagnol et le Gouvernement de Navarre, avec 60 et 40% respectivement.

La mise en œuvre des travaux a été divisé en deux phases ; la première exécute 98 km entre le barrage Itoiz et Artajona et le second complète le chemin vers la lagune de Lor dans le village d'Ablitas. À ce jour-ci, pleinement mis en œuvre la première phase et est en cours de discussion au niveau politique la surface à inclure dans l'irrigation de la seconde. Dans l'ensemble, le projet complet permettrait d'irriguer plus de 40.000 hectares appartenant à 45 communes.

#### Réseau de distribution et prises d'eau

Le réseau de distribution est le système de canalisations qui transporte l'eau du Canal de Navarre jusqu'au bord des parcelles, en assurant le débit et la pression nécessaires pour la bonne exploitation par le propriétaire.

Habituellement, il est mis en œuvre un processus avant la conception et l'installation du réseau de distribution pour chaque secteur. Grosso modo, qui vise ce processus consiste à regrouper les propriétés des propriétaires de la région avec l'objectif d'avoir toutes les parcelles regroupées. De cette manière, la taille moyenne des exploitations agricoles augmente et, par conséquent, l'efficacité pour le travail et, donc, une augmentation production. De plus, un nouveau réseau de chemins est généré pour faciliter l'accès des machines agricoles aux exploitations.

Le dernier élément de la distribution est la prise d'eau, situé au bord de chaque unité irrigation et qui acte comme frontière entre le réseau de distribution et le système irrigation du propriétaire de la parcelle. La prise d'eau est normalement un caisson en béton circulaire ou rectangulaire couverte et cadencée contenant la sortie en surface des conduites du réseau de distribution, un filtre et une vanne accompagnée des régulateurs de débit et pression. Si c'est nécessaire, il peut également être installé à la prise d'eau une ventouse pour éliminer l'air accumulée dans les tuyaux.

#### Installation de l'irrigation par aspersion sur le terrain

En aval de la prise d'eau, les décisions d'installation sont prises par le propriétaire. La plus courante consiste à installer un système d'arrosage ou de l'irrigation goutte à goutte pour assurer une bonne couverture pour augmenter le rendement des cultures.

Dans ce cas-la, les parcelles d'étude ont été installées en 2009 avec un système d'irrigation de couverture complètement enterré. L'installation du cadre des arroseurs suit 18x15m placés en quinconce. De cette façon-la, les arroseurs sont plus ou moins la même distance entre eux et ça assure une bonne homogénéité.

Les principaux composants du système d'irrigation en aval de la prise d'eau sont:

- Connexion avec la prise d'eau : C'est formé par toutes les pièces nécessaires pour connecter la sortie de la prise d'eau avec la conduite principale. Les parties principales sont la vanne hydraulique maîtresse, une vanne papillon, une bobine pour fertirrigation

et toutes les pièces nécessaires pour joindre les éléments entre eux. Tous les éléments qui sont installés à l'extérieur doivent être faites en, soit de la chaudière ou en polyéthylène (PE). En aucun cas, être en polychlorure de vinyle (PVC), car il est un matériau qui se dégrade très rapidement par l'action de la lumière du soleil.

- Tuyau principal : C'est le conduit qui transporte l'eau jusqu'à les vannes de chaque secteur. Il doit être conçu pour résister aux pressions et débits qui sont atteints. Habituellement, le tuyau principal est en PVC enterré et doit être installé telle que la génératrice supérieure est d'au moins 90 cm de profondeur par rapport à la surface du sol.
- Tuyau secondaire et tertiaire : Ce réseau de canalisation transportera l'eau des vannes jusqu'au chacun des arroseurs d'irrigation. Les conduites secondaires sont généralement en PVC et connectent la vanne de secteur avec les latérales d'irrigation en PE. Ces canalisations en PE transportent l'eau jusqu'aux roseaux sur lesquels les arroseurs sont mis.

L'ensemble des canalisations seront placés dans des tranchées creusées de 60 cm de largeur et assez profonds pour que la génératrice supérieure se trouve à 90 cm de profondeur par rapport à la surface du sol. Dans le cas des tubes latéraux ou tertiaires ont été injectés en utilisant un bulldozer à une profondeur minimale de 90 cm par rapport à la surface du sol.

Aux points où le maître d'œuvre indique, ils seront installées des vannes supplémentaires pour la future possible installation d'un système d'irrigation goutte à goutte. A l'extrémité des conduites secondaires seront placés des clés de papillon qui servent avec lesquelles on peut vider la canalisation secondaire si ça soit nécessaire.

- Arroseurs : Le cadre sélectionnée est 18x15 m placés en quinconce. Les arroseurs sont constitués du roseau métallique et l'arroseur. L'ensemble est ancré au sol par une masse en blocs de béton préfabriqué. Les arroseurs sont faits en laiton et peuvent parcourir le cercle complet ou que la moitié (sectoriels). Les circulaires émettent un débit de 1790 l / h à une pression de 0,35 MPa et ceux de secteur émettent un débit de 1100 l / h à la même pression. Le flux du sectoriel est plus faible parce qu'ils couvrent moins de surface et à la même vitesse.
- Automatisation de l'irrigation : Cela implique l'ouverture et la fermeture automatique des secteurs d'irrigation commandés par un contrôleur d'irrigation pour irriguer à un moment précis et pendant un temp déterminé. Les éléments responsables de l'ouverture et la fermeture des secteurs sont les vannes hydrauliques du secteur. Ces vannes sont jointes par des microtubes jusqu'au panneau de solénoïdes. Il y a un solénoïde pour chaque secteur d'irrigation, qui reçoit un signal électrique du programmeur et la transforme dans un signal hydraulique qui agit sur la vanne sectorielle. Les microtubes sont en polyéthylène de haute densité (PEHD) et mesure 8 x 5,5 mm.  
En plus des solénoïdes liés aux secteurs d'irrigation, on en installera un supplémentaire pour contrôler la fertirrigation et un autre agissant sur la vanne principale. Le panneau de solénoïdes ainsi que le programmeur de l'irrigation seront placés dans un caisson circulaire en béton pour les protéger.
- Fertirrigation : Pour faciliter l'introduction rapide et propre d'un système incorporant d'engrais liquides à la culture via le système d'irrigation, on conçoit une pompe hydraulique d'injection diamètre nominal de 1" commandé par un solénoïde du panneau. La pompe s'installera en aval de la prise d'eau avec les accessoires nécessaires pour une connexion rapide de la pompe d'injection.

## Parcelles d'étude

Pour élaborer ce rapport, on a demandé à la coopérative d'Artajona une liste des parcelles où ils avaient eu des problèmes de drainage ou de saturation d'eau en surface. Les parcelles que la coopérative a donné appartiennent au secteur III de la première phase du canal de Navarre. Ils sont toutes placées dans le village d'Artajona. Cette municipalité est dans la zone centrale de Navarre, entre les municipalités de Tafalla et Mendigorriá et 31 km au sud de Pampelune.

Tableau 1 : Relation des parcelles avec un mauvais drainage qui vont être étudiées.

Secteur	Unité d'irrigation	Municipalité
III	29	Artajona
	101	Artajona
	49	Artajona

### **UR-29**

L'unité d'irrigation (UR) 29 est actuellement formée par les parcelles 11-848 (2,60 ha), 11-849 (0,95 ha) et 11-850 A (4,94 ha). Les trois parcelles qui composent l'UR sont situées au sud-ouest de la ville, à 1,5 km de la ville. (INTIA, 2014)



Figure 1 : Situation de l'UR-29. Source : SITNA, 2013





Figure 2 : Vue aérienne actuelle de l'UR-29. Source : Google Maps

Cette unité d'irrigation a une orographie particulière avec de nombreuses différences d'altitude. Tous gauche dans la photo, où apparaît des tons bruns visibles qui indiquent que la parcelle peut être plus faible dans cette zone. De plus, la cote maximum est atteinte au milieu de la partie nord de la propriété. Il y a aussi deux régions au sein de l'unité d'irrigation où on ne peut pas cultiver en raison de l'excessive pente et la forte concentration de grosses pierres.

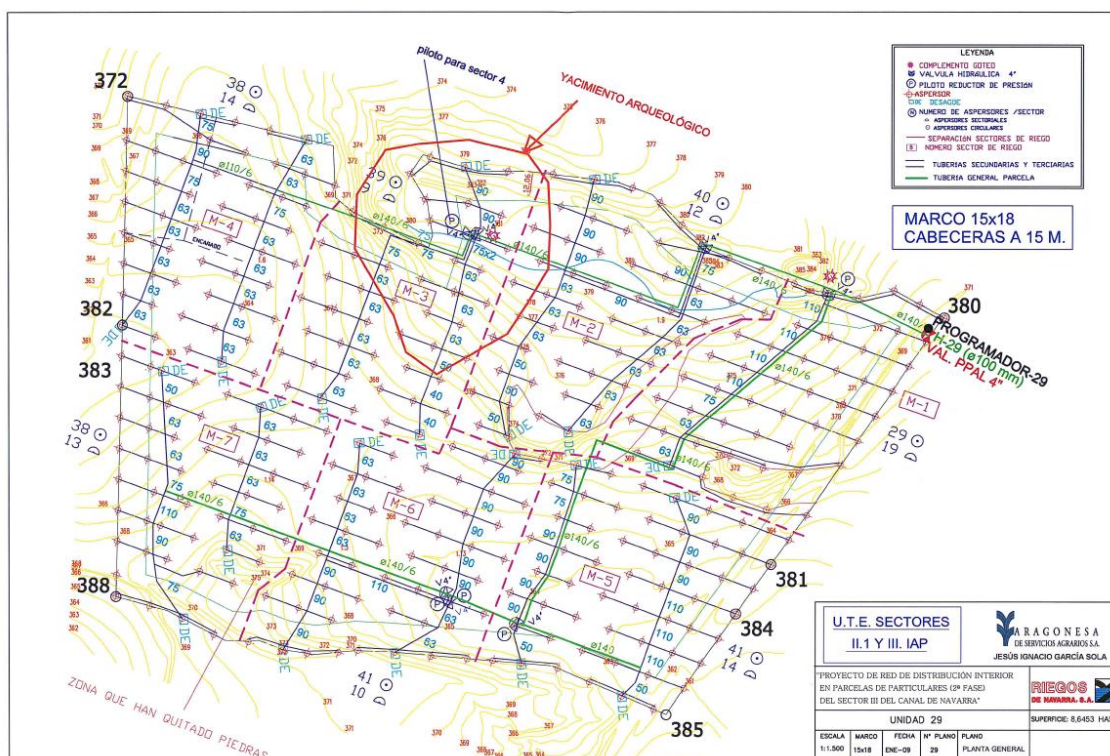


Figure 3 : Scène de la conception originale de l'UR-29. Source : A.Nieves [Communication personnelle]. 30 mai 2017

Dans sa conception originale, l'UR-29 se compose de 7 secteurs d'irrigation fournis à partir de la pris d'eau H-29, qui est situé dans le coin supérieur droit de l' scène.

## UR-49

L'unité d'irrigation 49 se compose uniquement de la parcelle 11-938 (1,97 ha). Il est situé au sud-ouest de la ville, à 3 kilomètres de la ville. (Intia, 2014)



Figure 4 : Situation de l'UR-49. Source : SITNA, 2013

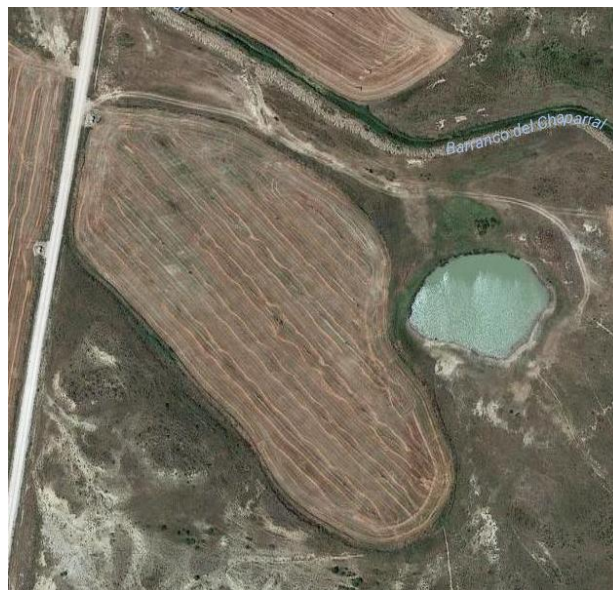


Figure 5 : Vue aérienne actuelle de l'UR-49. Source : Google Maps

Cette unité d'irrigation a une forme ovalée assez régulière et n'a pas non plus une grande dimension. Aucune différence notable dans le terrain est appréciée. Il est situé à côté d'un radeau de l'eau et au nord de la propriété il y a un ravin qui draine toute la région.



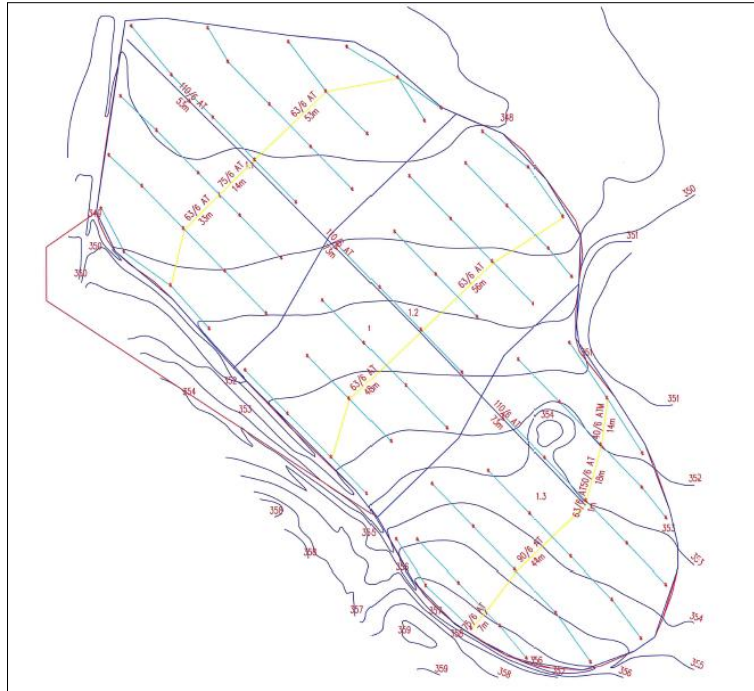


Figure 6 : Scène de la conception originale de l'UR-49. Source : A.Nieves [Communication personnelle]. 30 mai 2017

Dans ce cas-ci, la prise d'eau est située dans le coin supérieur gauche et il fournit d'eau aux es trois secteurs d'irrigation de la succession est composé. Les secteurs sont très réguliers en forme et surface.

**UR-101**

L'unité d'irrigation 101 comprend maintenant les sous-parcelles 7-842 A (8,63 ha) et 7-842 B (0,01 ha). L'unité est située au sud de la ville, à 1 kilomètre de la ville. (INTIA, 2014)

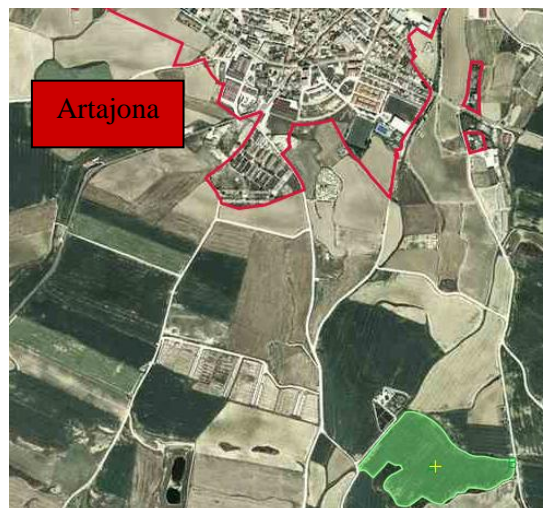


Figure 7 : Situation de l'UR-101. Source : SITNA, 2013



Figure 8 : Vue aérienne actuelle de l'UR-101. Source : Google Maps

Cette parcelle se situe entre deux chemins et est proche à l'usine de traitement d'eau d'Artajona. La partie la plus élevée est le secteur qui est plus au sud, tandis que le côté nord est dans un niveau inférieur par rapport à la cote, en particulier le coin au nord-est, où se trouve une des prises d'eau. L'autre prise est sur le côté du chemin qui va jusqu'à l'entrée de la station de traitement d'eau. Tout le côté nord est bordé par un canal d'eau qui draine par gravité l'eau que ruisselle des parcelles voisines.

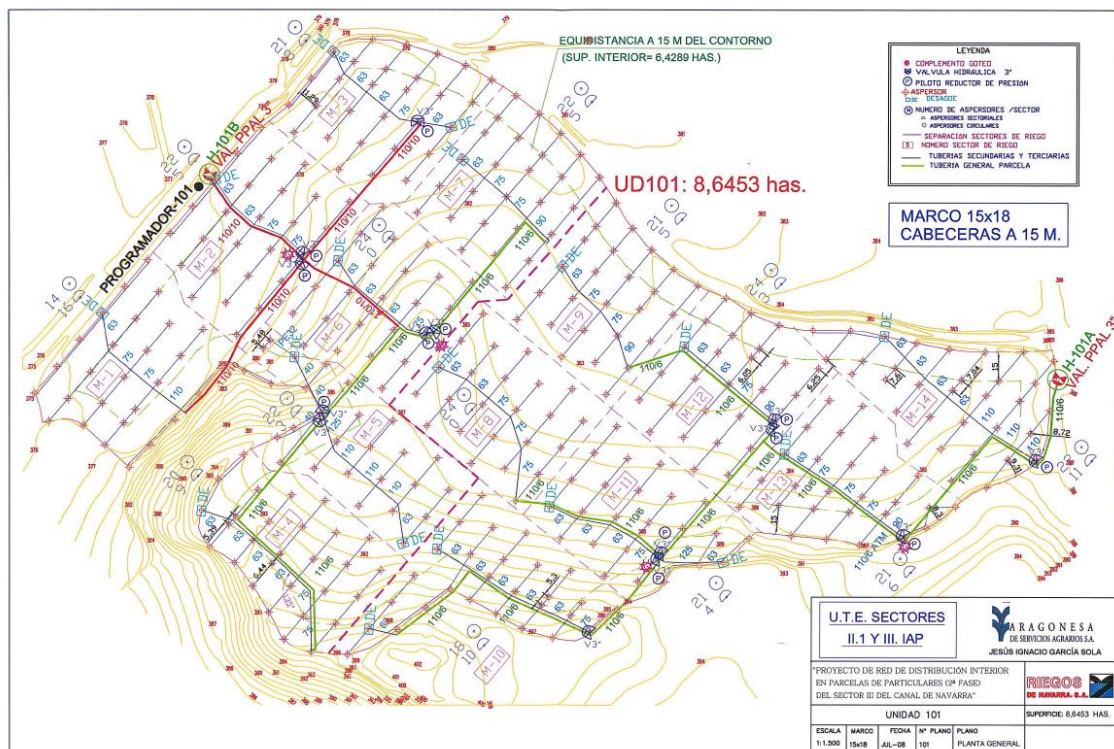


Figure 9 : Scène de la conception originale de l'UR-101. Source : A.Nieves [Communication personnelle]. 30 mai 2017

La surface totale sous irrigation du terrain est divisée en deux unités d'irrigation, 101-A et 101-B respectivement. Chaque prise d'eau livre de l'eau à 7 secteurs qui composent, une surface semblable.

## Matériaux

### Sources des images

Afin d'analyser le paysage des images et satellite à la disposition du public, ils ont été étudiés les satellites LANDSAT, MODIS, SENTINEL et les orthophotos de Navarre disponibles au SITNA.

### LANDSAT

Landsat est une ligne de satellites appartenant au gouvernement américain. LANDSAT-1 a été lancé en orbite en 1972 et dès ce moment-là, il y a eu 45 ans de données sans interruption. Le dernier satellite, LANDSAT-8, a été mis en orbite en Février 2013 et l'information a été disponible à partir du mai 2013. (USGS, 2016)

Les satellites LANDSAT sont le résultat d'une initiative mis en œuvre entre les États-Unis Geological Survey (USGS) et l'Administration Nationale de l'Aéronautique et de l'Espace (NASA) afin d'obtenir des informations utiles pour les domaines commercial, industriel, civil et militaire. (USGS, 2016)

Tableau 2 : Caractéristiques principales des satellites LANDSAT 4, 5, 7 et 8. Source: USGS, 2016

	Landsat 4	Landsat 5	Landsat 7	Landsat 8
Date de mis en orbite	16-jul-82	01-mar-84	15-abr-99	11-feb-13
Date mis hors service	15-jun-01	05-jun-13	En servicio	En servicio
Periodo de órbita	16 días	16 días	16 días	16 días
Largeur de balayage	185 km	185 km	185 km	185 km
Nombre de bandes	7	7	8	9
Taille du pixel	30-120 m	30-120 m	15-60 m	15-30 m



Figure 10 : Distribution spatiale du temp de service des satellites LANDSAT. Source: USGS, 2016

### MODIS

MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectro-radiometer) est un instrument mis en orbite par la NASA pour obtenir des images à l'échelle mondiale avec une très haute fréquence temporelle. Actuellement, le système MODIS est installé à bord de deux satellites ; le Terra (initialement EOS AM-1) lancé en 1999 et l'Aqua (EOS initialement connu sous le nom PM-1), lancé en 2002. Le Terra traverse l'Equateur du nord au sud tous les jours le matin et Aqua lui traverse du sud au nord l'après-midi avec la même fréquence. (NASA, 2017a, 2017b)

Cela permet une couverture complète tous les jours de la surface de la terre, et l'enregistrement des informations dans 36 bandes spectrales différentes. Les informations collectées sont destinées à aider à comprendre la dynamique mondiale et les processus qui se produisent sur la



Terre et à contribuer à la prise de décisions pour la protection de l'environnement. (NASA, 2017c)

La longueur d'onde qui capture satellites MODIS est compris entre 0,4 et 14,4 microns et 36 bandes sont distribuées dans différentes utilisations primaires. La résolution spatiale de pixel de 250 m, à savoir, chaque pixel occupe une superficie de 6,25 ha. (NASA, 2017c)

## **SENTINEL**

SENTINEL est l'ensemble de satellites Copernicus, une initiative menée par l'Union européenne afin d'aider à gérer la consommation et l'utilisation des ressources naturelles et protéger l'environnement. Au sein du programme Copernicus, il y a 6 familles de satellites intégrées, baptisées comme SENTINEL qui sont les responsables de la collecte de toutes les informations avec l'aide d'autres satellites tertiaires. (ESA, 2015)

Pour recueillir des informations satellites SENTINEL peuvent travailler de façon autonome ou en reposant sur des capteurs sur terre, mer et air. Avec toutes les informations fournies par les satellites, on fait des statistiques et des cartes qui peuvent être analysés par des chercheurs et des utilisateurs généraux pour essayer de déchiffrer le passé, les enjeux actuelles et les tendances futures liées à l'environnement. (ESA, 2015)

Toutes les données disponibles sont accessibles au public, pour être consulté par des scientifiques, des politiciens, des entrepreneurs et des citoyens en général.

La première mission du projet, est appelé SENTINEL-1 et se compose de deux satellites lancés en Avril 2014 et 2016 respectivement. Les deux machines parcourent la même orbite, mais ils sont situés de façon diamétralement opposée l'un de l'autre. Avec ces deux satellites en fonctionnement, le cycle de l'orbite se répète chaque 6 jours. Les images rendues attendent une taille de pixel de 4, 10, 25 ou 40 m en fonction des bandes latérales qui sont utilisées. (Sentinel-1Team, 2013)

Le SENTINEL-2 est un satellite de large balayage et haute résolution qui collecte des images multispectrales. Les bandes se classifient en 13 groupes différents au sein avec des résolutions de 10 m, 20 m et 6 bandes 3 bandes de 60 mètres de large pixel. (ESA, 2017)

Cette famille de satellites sont utilisés pour :

- Aménagement du territoire
- Surveillance de l'agro-environnement
- Surveillance de l'eau
- Surveillance de la végétation de et de la forêt
- Surveillance du carbone du sol et des ressources naturelles
- Surveillance des cultures au niveau mondial

(ESA, 2017)

On considère que les autres familles SENTINEL qui restent n'ont pas assez de données enregistrées pertinents.

## **ORTHOPHOTO**

L'orthophotographie, par définition, est une photographie aérienne d'une surface qui a été prise depuis un avion et soumis à un processus photogrammétrique qui le transforme pour en faire une projection orthogonale. L'image traitée est située en coordonnées et à une certaine échelle qu'on connaît en fonction de la position et l'orientation de la caméra au moment où la photo a été prise. (SITNA, 2013)

En utilisant cette technique, on voit tous les éléments d'un endroit en les affichant comme on les verrait depuis un avion sans l'utilisation d'un symbole graphique.

En Navarre, il y a des orthophotocartes qu'ont été mis à jour jusqu'au 2014. Les différentes séries de orthophotocarte (1:5.000, 1:10.000 et 1:25.000) font référence à l'échelle de la représentation, à savoir le « zoom » ou la distance à laquelle le sol était observée. Ainsi, dans un orthophotocarte 1:5.000, l'stade d'Osasuna occupe environ 5 centimètres carrés et sur une

échelle 1 :25.000, il occupe 0,2 centimètres carrés. Il y a aussi disponible une orthophotographie à l'échelle 1:1.000, mais c'est effectuée uniquement dans les zones urbaines pour l'élaboration des plans d'urbanisme général. (SITNA, 2013)

Les services publics de la Navarre garantissent une couverture complète du territoire de la région renouvelée chaque année avec une résolution de 25 cm. (SITNA, 2013)

### Logiciels et applications

Les images de toutes les sources énumérées ci-dessus nécessitent un traitement spécifique afin de pouvoir travailler avec eux correctement et d'obtenir des résultats cohérents et fiables.

Jusqu'à il y a quelques années, ce traitement nécessitait des équipes puissantes qui étaient disponibles que pour certaines entreprises. Cependant, il y a une tendance mondiale au rendre publics de plus en plus d'informations recueillies par des satellites, qui étaient initialement destinées uniquement aux chercheurs et décideurs. Cette tendance, associée au développement de la technologie et à l'Internet permet à toute personne ayant une connaissance de base pour gérer ces images.

Pour cela, aujourd'hui, il y a différents logiciels en ligne qui offrent ces services dans des applications gratuites. On a utilisé Google Earth Engine, SNAP Sentinel et l'affichage de SITNA pour la visualisation et traitement des images. En outre, pour la conception hydraulique des parcelles, on a utilisé le logiciel W-Cadi, dont est spécialisé dans la conception de systèmes d'irrigation.

#### Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) est une plateforme de traitement géospatiale d'images en nuage. L'idée de cette plateforme est de permettre aux utilisateurs travailler en ligne avec les serveurs de chez Google, par exemple, il permet de travailler avec des paquets de données très lourds avec seulement un ordinateur et une connexion Internet. On n'est pas autorisé à utiliser l'application pour obtenir un profit, cependant tous les services sont complètement disponibles pour la recherche.

Une autre caractéristique est la disponibilité sur GEE des bibliothèques d'images en ligne qui contient des données collectées depuis 40 ans. Dedans ces bibliothèques, on peut trouver pétaoctets de données et qui sont mis à jour quotidiennement. La bibliothèque de données comprend un fichier de données Landsat 4, 5, 7 et 8 qui ont été traitées par les États-Unis Geological Survey (USGS) et une grande variété de données MODIS. Toutes les données qui sont disponibles dans les bibliothèques ont été pré-traitées, géoréférencées et ils sont tous prêts à l'emploi. Il est également possible de charger vos propres fichiers raster ou vectoriels et les résultats peuvent être rendus publics ou conservés de façon privé.

Pour que l'utilisateur peut appliquer des algorithmes et opérations aux données, GEE dispose d'une interface de programmation d'application (API) disponible dans les langages de programmation JavaScript et Python. L'API prend en charge des analyses géospatiales complexes comme des superpositions, des opérations, des opérations en série, du traitement d'image, des changements de directions... À partir de cette base de fonctionnalités de programmation disponibles dans la bibliothèque, l'utilisateur est libre de développer ses propres fonctions plus complexes en faisant des modifications et combinaisons des fonctions base. (Google Earth Engine, 2017)

#### SNAP SENTINEL

SNAP est la plate-forme conçue pour traiter les images SENTINEL. Ce logiciel mettre à disposition de l'utilisateur un large éventail de statistiques à appliquer aux images.

L'application est accessible au public et, pour télécharger les images, il faut s'inscrire sur le site Web du programme Copernicus.

#### SITNA

Le Géoportail de Navarre est l'offre du Gouvernement de la Navarre pour ceux qui veulent utiliser les informations relatives au territoire de la communauté. Depuis 2008, le Géoportail est inclus sur le site de SITNA (Sistema de Información Territorial de Navarra).

En outre, le Géoportail est un affichage web plein écran compatible avec les principaux navigateurs web (Internet Explorer, Firefox, Safari et Chrome). Depuis le site web SITNA, les orthophotos sont disponibles pour les télécharger et de travailler avec elles. (SITNA, 2013)

## W-CADI

W-Cadi n'est pas un logiciel de traitement d'images mais un logiciel spécialisé en conception de l'irrigation qui est programmé avec les équations fondamentales de l'hydraulique. W-cadi fournit des résultats précis et fiables dans la conception du système d'irrigation sur terrain. (WCADI, 2017)

Pour une utilisation dont on a besoin :

- La carte topographique du terrain
- Les besoins en eau des cultures
- Le coût des canalisations et de l'équipement de pompage

Ce logiciel n'est pas libre. Pour la conception des parcelles du rapport, on a utilisé la licence pour INTIA S.A. dans la version 2002 du logiciel.

## Méthodes d'analyse

La première question qu'on se pose lorsqu'on considère faire une analyse géospatiale d'un territoire est quelle est la source des données la plus appropriée pour la situation qu'on veut étudier. A cet effet, une comparaison entre les données provenant des différents satellites et orthophotos disponibles a été faite en comparant les dates entre lesquelles il y a des images disponibles, la résolution de celui-ci et la fréquence avec laquelle les images ont été prises.

*Tableau 3 : Comparaison des principales caractéristiques de la Landsat, MODIS, SENTINEL et orthophotos. Source: (USGS, 2016, NASA, 2017a, 2017B, 2017c, SITNA, 2013)*

	<b>LANDSAT</b>	<b>MODIS</b>	<b>SENTINEL</b>	<b>Ortofoto</b>
Dates disponibles	1982-2017	1999-2017	2015-2017	2003-2016
Fréquence	8-16 días	1 día	6 días	1 año
Résolution	10-30 m	250 m	10-60 m	25 cm

Pour sélectionner la source d'information à utiliser en fonction de ces trois critères, l'enjeu principal est que la taille des pixels soit assez petit pour pouvoir identifier les zones ayant des problèmes de drainage dans les parcelles. De plus, idéalement, avoir les images depuis le plus de temps possible et très suivies dans le temps. Ainsi, il pourrait faire une analyse statistique fiable de la parcelle qui nous permettrait définir parfaitement et caractériser les zones sujettes aux inondations.

Le premier satellite qu'on peut exclure est le SENTINEL parce que, bien qu'il ait une fréquence assez élevée et une résolution acceptable à première vue, il n'y a que deux ans en orbite et ne compte pas avec beaucoup de données collectées.

La question est maintenant définir quelle est la résolution suffisante pour caractériser le tracé de façon optimale. Pour ce faire, on va faire une comparaison en utilisant la bibliothèque d'images sur GEE pour des différentes échelles. On a choisi des cartes des valeurs de l'indice de Végétation Normalisé (NDVI) pour étudier la qualité de la résolution d'image par rapport à l'image de Google Maps disponible et qui date de 2017.

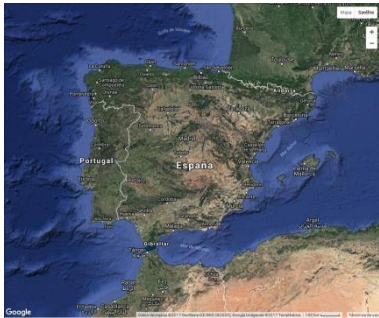


Figure 11 : Image aérienne de la péninsule ibérique. Source : Google Earth Engine, 2017

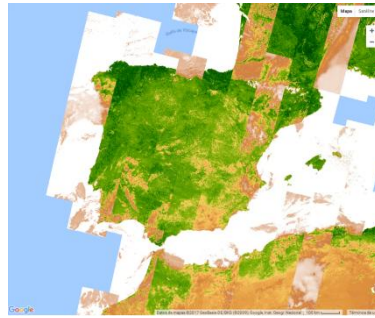


Figure 12 : NDVI composite de 32 jours de la péninsule entre le 9/4/2017 et le 5/9/2017 LANDSAT. Source : Google Earth Engine, 2017



Figure 13 : NDVI MODIS de la Péninsule Ibérique de 29/04/2017. Source : Google Earth Engine, 2017

Pour observer des phénomènes au niveau national ou mondial, le satellite MODIS a une très bonne résolution et obtient des images par jour, de sorte qu'il génère un grand volume d'images de bonne qualité.

Les images LANDSAT ont une meilleure définition, mais ces grandes échelles remarquent à peine la différence. De plus, les images sont générées tous les 8 jours avec la combinaison de Landsat 7 et 8. Ainsi modèles, beaucoup moins d'images sont enregistrées dans la même période de temps.



Figure 14 : Image aérienne de la municipalité d'Artajona. Source : Google Earth Engine, 2017



Figure 15 : NDVI composite de 32 jours de la municipalité d'Artajona entre le 9/4/2017 et le 5/9/2017 LANDSAT. Source : Google Earth Engine, 2017

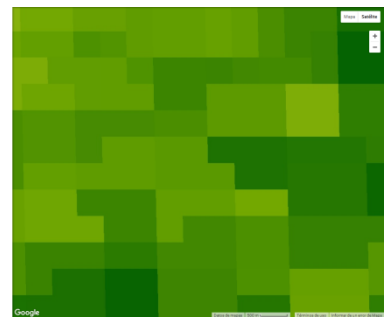


Figure 16 : NDVI MODIS de la municipalité d'Artajona du 29/04/2017. Source : Google Earth Engine, 2017

Alors qu'on augmente l'échelle des images à l'échelle du paysage, l'image de LANDSAT fournit suffisamment précis pour distinguer les parcelles, les zones forestières, les zones urbaines... Par contre, sur l'image de MODIS on pourrait arriver à distinguer le scénario des zones dans des paysages plus grands mais, en général, la qualité d'image est très pauvre.



Figure 17 : Image aérienne de l'UR-29. Source : Google Earth Engine, 2017

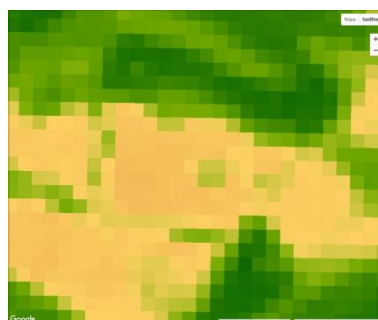


Figure 18 : NDVI composite de 32 jours de l'UR-29 entre le 9/4/2017 et le 5/9/2017 LANDSAT. Source : Google Earth Engine, 2017



Figure 19 : NDVI MODIS de l'UR-29 du 29/04/2017. Source : Google Earth Engine, 2017

Au niveau de la parcelle, le satellite MODIS, avec un côté pixel de 25 mm, ne distingue pratiquement rien et la résolution à ce niveau-ci, il est terrible. L'image fourni par LANDSAT n'est pas mal du tout et ce satellite peut détecter assez clairement la forme de la parcelle, mais sans avoir beaucoup de détails. A ce niveau de zoom est nécessaire une définition semblable à celle qui est montré dans l'image de Google Maps et, pourtant, celle des orthophotos SITNA.

D'après les informations ci-dessus, il est décidé que pour définir les zones avec des problèmes de drainage des parcelles d'étude on effectuera une analyse visuelle des orthophotos disponibles sur SITNA. L'inconvénient de cette méthode est la faible fréquence avec laquelle les images ont été prises car, on a besoin de plusieurs ressources (des avions, des pilotes et techniciens, un appareil photo...) qui entraînent un coût élevé et les images sont mises à jour chaque année. Cependant, cette méthodologie pour élaborer des orthophotos nécessite des images prises dans les jours de printemps ou d'été sans couverture nuageuse, assurant des images de haute qualité.

En outre, lors de l'analyse des problèmes liés au drainage, on voit très bien dans les orthophotos quel que soit l'état de développement de la culture sur la parcelle.

### Sélection des parcelles d'étude

Comme on a indiqué précédemment, le nombre d'orthophotos disponibles sur SITNA est limitée et on peut avoir que une image annuelle. L'afficheur SITNA dispose en accès public et échelle 1: 5000 le prochain nombre d'orthophotos des unités d'irrigation étudiées: 1998-2000, 2003, 2005, 2008, 2009 (à l'exception de l'UR-119), 2010, 2011, 2012, 2013, 2014. D'ailleurs, la photographie du 2016 et des caractéristiques pareilles peut être trouvé sur Google Earth, dans le mode « affichage satellite ».

Les vols qui ont enregistré les orthophotos ont été effectués ces jours où il y a une bonne lumière et le ciel est complètement dégagé. Comme conséquence, ces vols-ci, sont donc habituellement commandés au printemps ou en été. Cependant, on dispose que des dates exactes des photos prises entre 2006-2014.

Tableau 4 : Dates de vol des orthophotos des UR-29, 49 et 101. Source: IDENA, 2017

	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2006
UR-29	23-juil	25-juil	22-jun	26-sep	07-juil	20-juil	22-jun	27-mai
UR-49	23-juil	25-juil	15-jun	22-sep	07-juil	20-juil	22-jun	27-mai
UR-101	23-juil	25-juil	22-jun	26-sep	22-jun	ND	22-jun	27-mai

Pour effectuer l'analyse visuelle qu'on veut faire, on peut utiliser les parcelles qui son cultivées ou qui sont en jachère. Ceux qui ont des restes de récolte sur le terrain doivent encore être étudiés dans chaque cas particulier, car ça dépend de la qualité de l'image pour les pouvoir distinguer ou pas. En effet, dans les deux premiers cas, on apprécie d'un coup d'oeil les

différences de performance qu'il y a cette saison-la dans la parcelle. Si le terrain est travaillé au moment de la prise de vue de la caméra, cette image ne fournirait pas d'information sur les zones avec un mauvais drainage.

Ensuite, on a classifié les orthophotos disponibles en fonction de l'état dans lequel ils y étaient au moment de la capture d'image de chaque année. Le vert représente que la parcelle hébergeait une culture en croissance. Les cellules jaunes indiquent que la parcelle a été récoltée, le plus souvent avec de la paille encore sur le terrain, et les cellules brun marron correspond a celles qui étaient travaillées. « ND » indique qu'il n'y avait pas de documentation de cette année.

	2016 GE	2014	2013	2012	2011	2010	2009
UR-29							
UR-49							
UR-101							
	2008	2007	2006	2005	2004	2003	
UR-29		ND	ND		ND		
UR-49		ND	ND		ND		
UR-101		ND	ND		ND		

	Culture actif
	Récoltée
	Travaillée
ND	Pas disponible

Figure 20 : Clasifcation de l'état des UR étudiées basées sur les orthophotos disponibles depuis 2003. Source: *Élaboration personnelle*

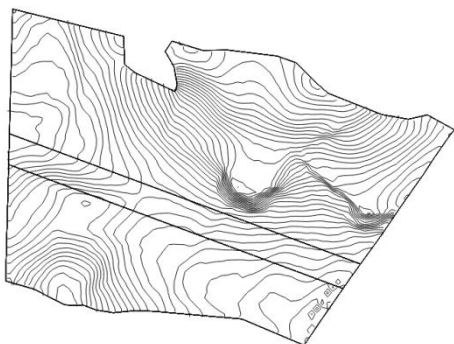
Par conséquent, et en fonction de la table et des critères décrits ci-dessus, l'UR-29 a 10 images valides, l'UR-49 a 10 images valides et UR-101 dispose de 10 images valides. Sur la base de ces données, vous pouvez étudier la resectorisation des trois unités d'irrigation car c'est considéré que les images disponibles ont assez d'information pour définir les zones avec des problèmes de drainage.



# Résultats

UR-29

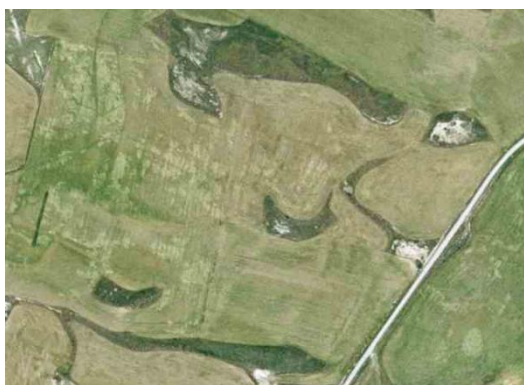
Analyse des orthophotos de l'UR-29



**Orographie**



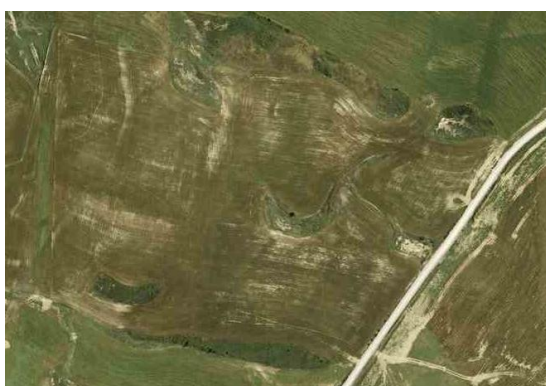
**2003**



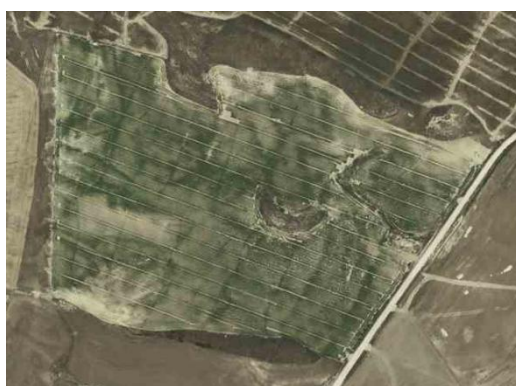
**2005**



**27/05/2006**



**22/06/2008**



**20/07/2009**

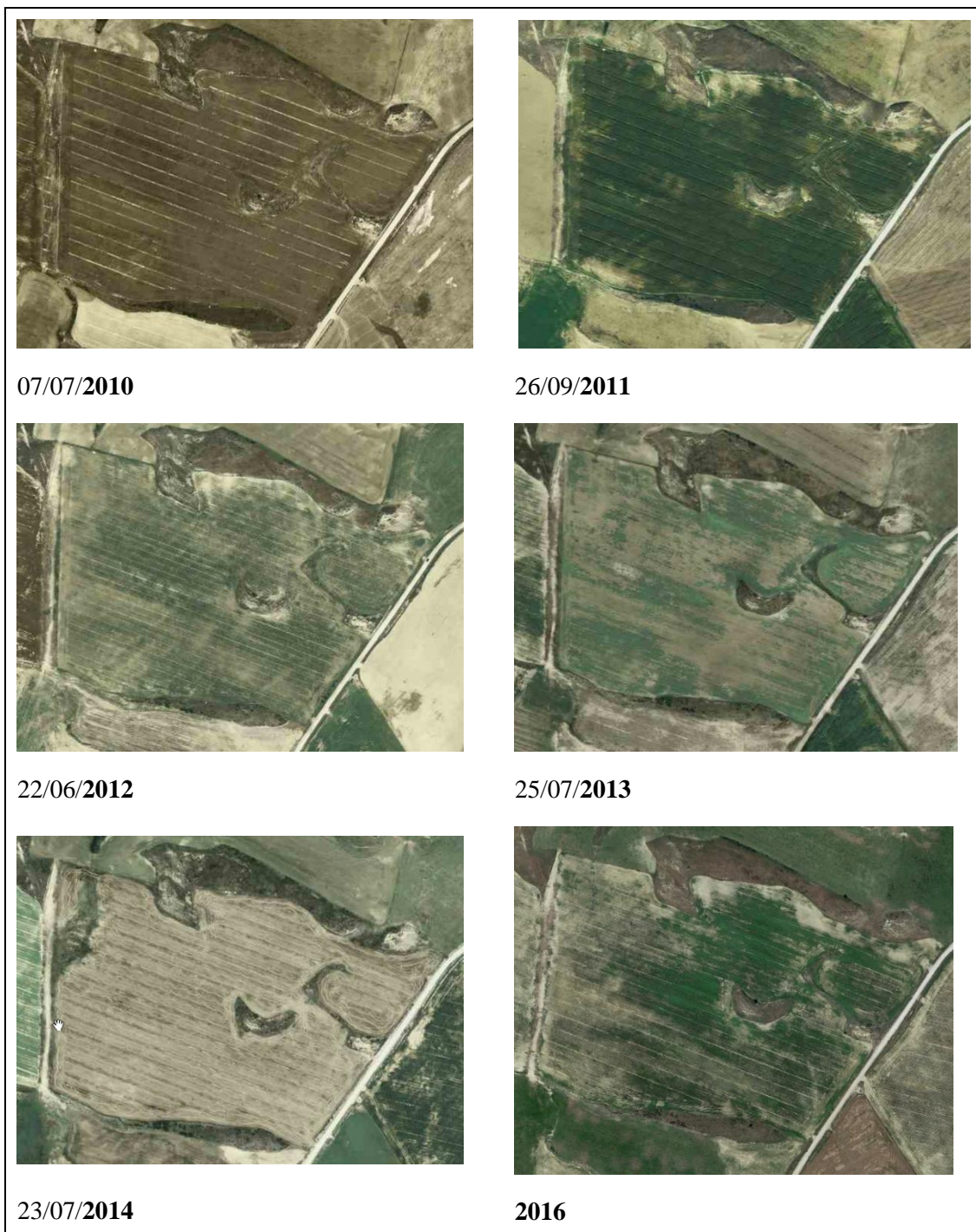


Figure 21 : Rélation des ortophotos disponibles de l'UR-29. Source : SITNA, 2013

À l'unité d'irrigation 29 ils sont clairement distingués des zones avec des problèmes d'inondation. Principalement dans les photos de 2011 et en 2009 c'est clair qu'il y a des changements de couleur dans la culture qui coïncident aussi bien avec les zones déprimées du terrain. La première zone est le coin nord-ouest, qui correspond au secteur d'irrigation M-4, où dans pratiquement toutes les photographies, de faibles rendements sont observés. La deuxième zone est vu dans le couloir est dans la direction des lignes juste au nord de la colline du sud de la parcelle. Dans la conception, cette partie occuperait la moitié supérieure des secteurs M-6, M-7 et M-5.

Pour resectorisation et l'isolement des pièces avec un mauvais drainage, on propose maintenir la direction des rues dans le même sens que dans la conception originale et de modifier les secteurs d'irrigation selon le modèle suivant.



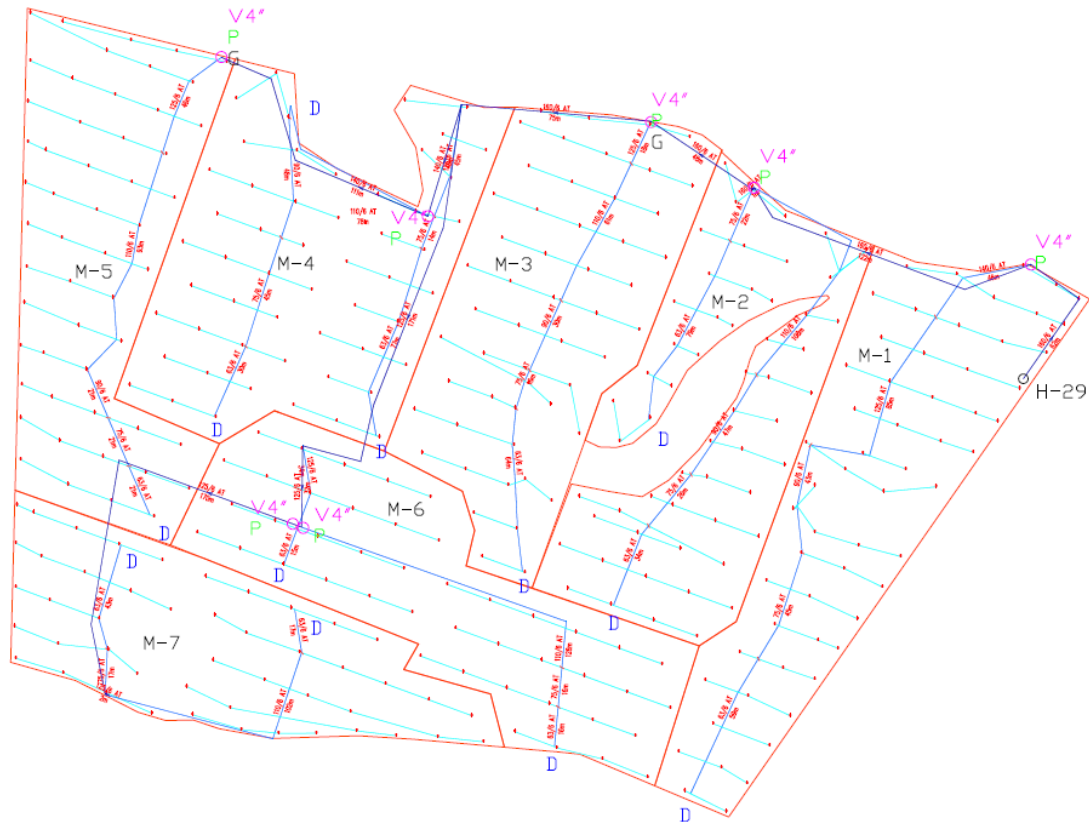


Figure 22 : Conception proposée pour l'UR-29. Source: Élaboration personnelle.

Ce qui a été essayé avec cette solution est borner dans les secteurs 5 et 6 les deux zones principales avec un mauvais drainage qui étaient visibles dans les images. En créant ces deux secteurs, le fond de la parcelle (secteur 7) devient isolé et, par conséquent, ça doit être un secteur indépendant, même s'il y a peu de surface.

Dans le reste de la ferme, on a essayé de sectoriser aussi régulièrement que possible, en créant des secteurs avec le même nombre d'arroseurs chacun. Dans les secteurs 2, 4, 6 et 7 deux lignes de dérivation parallèles sont dessinées et ils sont commandés par la même vanne sectorielle. Cela minimise des nombreuses pertes de charge de l'eau dans les latérales d'irrigation très larges.

La ligne bleue représente le parcours de la conduite principale. Il part de la bouche d'incendie du côté est de la parcelle et la première section traverse la parcelle par le bord supérieur. En atteignant la zone 4 est divisé en deux parties; la première fournit les secteurs 4 et 5 et la deuxième sert aux secteurs 6 et 7. Pour délimiter le parcours, on a essayé, dans la mesure du possible, que le tuyau passe par les bords de la parcelle ou qui match avec les canalisations secondaires pour gagner du temps et des ressources lors de l'ouverture des tranchées dans l'exécution des travaux.

En ce qui concerne les vannes du secteur, elles sont placées à l'entrée de chaque secteur, à savoir où la canalisation primaire rejoint chaque canalisation secondaire. Comme les débits des secteurs sont grands, on a besoin de vannes 4" dans tous les secteurs. La vanne principale est installée sur la bobine à la sortie de la prise d'eau pour contrôler le débit d'eau dans le tuyau principal est également conçue.

Les systèmes régulateurs de pression sont installés si la pression dans la conduite principale à l'endroit où il se connecte avec le secteur est plus grande que la pression requise. Dans ce cas-ci, tous les secteurs remplissent cette condition, de sorte que toutes les vannes, sauf la maîtrise doivent avoir un régulateur de pression réglable.

À l'extrémité des conduites secondaires, on a placé un clé d'évacuation d'eau. Ceci permet la vidange du tuyau secondaire, si nécessaire.

Un autre élément qui est installé selon le projet dicte, c'est le complément d'irrigation goutte à goutte, généralement deux par unité d'irrigation. Dans ce cas-ci, on a décidé de les placer à côté des vannes de secteurs 3 et 5.

Secteur	Débit (m <sup>3</sup> /h)
1	106,47
2	111,12
3	96,99
4	105,32
5	96,58
6	79,79
7	79,7

*Figure 23 : Rélation entre les secteurs de l'UR-29 et les débits. Source: Élaboration personnelle.*

Comme on peut voir dans le tableau ci-dessus, les débits des différents secteurs sont très différents. Le secteur qui nécessite moins d'écoulement est le 6<sup>ème</sup> avec 79,7 m<sup>3</sup> / h alors que le secteur 2 est le plus demandeur avec 111,12 m<sup>3</sup> / h.

Dans l'ensemble, le budget de l'unité d'irrigation 29 est effectué et on l'a comparé avec ce qui était fait en 2008 pour la conception originale. Alors que les prix ont changé depuis 2008, la resectorisation a été fait avec les prix originaux pour être plus juste et pouvoir comparer les deux options.

Tableau 5 : Comparative entre le budget original et ceci de la nouvelle conception. Source : A. Nieves [Comunicación personal]. 30 mai 2017; elaboración personal

			PRESUPUESTO INICIAL (2008)			PRESUPUESTO resectorizado		
			Medición	Precios	Presupuesto	Medición	Precios	Presupuesto
MOVIMIENTO DE TIERRAS	m	APERTURA DE ZANJA PARA PVC/PE EN COBERTURAS	3.680,00	1,14	4.195,20	2.790,00	1,14	3.180,60
	m	APERTURA DE ZANJA PARA PVC EN COBERTURAS ASIENTO GRAVILLA	0,00	1,55	0,00	0,00	1,55	0,00
	Ud.	HOYO PARA ASPERSOR	366,00	1,36	497,76	366,00	1,36	497,76
	m	COLOCACION TUBERIA POLIETILENO	2.770,00	0,38	1.052,60	4.551,40	0,38	1.729,53
TUBERÍAS	m	TUBERIA DE PVC ø 40 mm. - 0.6	30,00	0,60	18,00	0,00	0,60	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 50 mm. - 0.6	465,00	0,84	390,60	240,70	0,84	202,19
	m	TUBERIA DE PVC ø 63 mm. - 0.6	657,00	1,15	755,55	455,40	1,15	523,71
	m	TUBERIA DE PVC ø 75 mm. - 0.6	255,00	1,60	408,00	221,80	1,60	354,88
	m	TUBERIA DE PVC ø 90 mm. - 0.6	432,00	2,19	946,08	188,60	2,19	413,03
	m	TUBERIA DE PVC ø 110 mm. - 0.6	266,00	2,55	678,30	570,80	2,55	1.455,54
	m	TUBERIA DE PVC ø 125 mm. - 0.6	0,00	3,24	0,00	601,70	3,24	1.949,51
	m	TUBERIA DE PVC ø 140 mm. - 0.6	906,00	4,06	3.678,36	203,60	4,06	826,62
	m	TUBERIA DE PVC ø 160 mm. - 0.6	0,00	5,18	0,00	307,40	5,18	1.592,33
	m	TUBERIA DE PVC ø 180 mm. - 0.6	0,00	7,07	0,00	0,00	7,07	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 200 mm. - 0.6	0,00	8,59	0,00	0,00	8,59	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 250 mm. - 0.6	0,00	11,76	0,00	0,00	11,76	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 110 mm. - 1	0,00	3,71	0,00	0,00	3,71	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 125 mm. - 1	0,00	4,76	0,00	0,00	4,76	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 140 mm. - 1	0,00	5,84	0,00	0,00	5,84	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 160 mm. - 1	0,00	7,52	0,00	0,00	7,52	0,00
	m	TUBERIA DE POLIETILENO	4.176,00	0,67	2.797,92	4.551,40	0,67	3.049,44
CONEXIÓN DE HIDRANTE, VALVULERÍA Y DESAGÜES	Ud.	CONEXIÓN 80/100mm	1,00	436,40	436,40	1,00	436,40	436,40
	Ud.	DESAGÜE DE SECTOR ø 50 mm.	23,00	18,80	432,40	12,00	18,80	225,60
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 3" SIMPLE (80 mm)	0,00	336,66	0,00	0,00	336,66	0,00
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 3" DOBLE (80 mm)	0,00	604,10	0,00	0,00	604,10	0,00
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 4" SIMPLE (100 mm)	4,00	477,18	1.908,72	6,00	477,18	2.863,08
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 4" DOBLE (100 mm)	2,00	834,57	1.669,14	1,00	834,57	834,57
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 6" SIMPLE	0,00	1.274,15	0,00	0,00	1.274,15	0,00
	Ud.	COMPLEMENTO VÁLVULA HIDRAÚLICA 80 ó 100 mm	2,00	146,50	293,00	2,00	146,50	293,00
	Ud.	PILOTO REGULADOR DE PRESION	5,00	76,30	381,50	7,00	76,30	534,10
Ud.	VÁLVULA REGULADORA 3/4 "	0,00		0,00	0,00		0,00	
ASPERSORES	Ud.	ASPERSOR CIRCULAR C.E.	267,00	15,00	4.005,00	269,00	15,00	4.035,00
	Ud.	ASPERSOR SECTORIAL 1000 L/H	99,00	20,41	2.020,59	97,00	20,41	1.979,77
	Ud.	CHAPA PROTECTORA EN ASPERSOR	14,00	4,26	59,64	16,00	4,26	68,16
PROGRAMADORES Y AUTOMATISMOS	Ud.	PROGRAMADOR ELECTRONICO HASTA 12 SECTORES	1,00	1.070,56	1.070,56	2,00	1.070,56	2.141,12
	Ud.	PROGRAMADOR ELECTRONICO HASTA 18 SECTORES. 2 MOTORES	0,00	1.097,29	0,00	0,00	1.097,29	0,00
	Ud.	SOLENOIDE TIPO LATCH	7,00	71,31	499,17	7,00	71,31	499,17
	Ud.	SOLENOIDE TIPO LATCH METALICO	2,00	98,77	197,54	2,00	98,77	197,54
FERTIRRIGACIÓN	Ud.	BOMBA INYECTORA 200 L/H 0.6 Mpa	1,00	629,17	629,17	1,00	629,17	629,17
SEGURIDAD Y SALUD	Ha	SEGURIDAD Y SALUD	8,44	23,00	194,01	8,44	23,00	194,01
		PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL		PEM	29.215,21		PEM	30.705,83
		PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA		PEC	38.973,09		PEC	40.961,58
		PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO DE LA PROPIEDAD		PCP	41.701,21		PCP	43.828,89

Si les deux budgets sont comparés plusieurs différences sont évidentes. Le plus notable est que l'offre de la parcelle resectorisée pour isoler les zones à un mauvais drainage, nécessite, en général, un diamètre plus grand du tuyau. D'autre part, la somme des canalisations des conduites primaire et secondaire se réduit avec la nouvelle conception.

Une autre différence frappante est que, dans la conception originale presque deux fois plus que dans les nouveaux drains sont nécessaires. En effet, les vannes de secteur ont été initialement placées sur point intermédiaire du tuyau secondaire alors que maintenant on a proposé de les

placer à l'extrémité du tuyau, donc n'aurait à placer qu'un clé d'évacuation à l'extrémité opposée.

Au total, le prix de connaissance de la propriété (PCP) dans la conception de 2008 a été 41,701.21 € alors que la refonte équivaldrait à 43,828.89 €, soit une augmentation de 5,10% par rapport au budget initial. Exprimé en euros par hectare, la conception originale coûte 4,940.9 € / ha et la nouvelle 5.193 € / ha.

## UR-101

### Analyse des orthophotos de l'UR-101



**Orographie**



**2003**



**2005**



**27/05/2006**



**22/06/2008**



**2009**





22/06/2010



26/09/2011



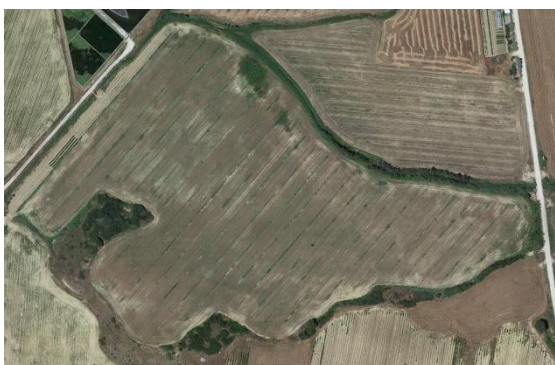
22/06/2012



25/07/2013



23/07/2014



2016

Figure 24 : Rélation des orthophotos disponibles de l'UR-101. Source : SITNA, 2013

La topographie de la parcelle est un peu complexe ; la partie inférieure est dans le coin sud-ouest, à côté du virage de la route et a une hauteur de 375 m au dessus du niveau de la mer. En revanche, la partie dans le secteur M-14 (figure 9), à une altitude de 399 m. Dans le nord il y a une vallée qui longe le sommet de l'intrigue. Cet élément est important car il coïncide avec l'une des zones avec un mauvais drainage de la parcelle, car il est la zone qui reçoit toute l'eau de glissement des parties supérieures de l'intrigue.

Dans la zone couverte par le M-1B, M-2B et M-3B en secteurs (figure 9), le propriétaire a planté des asperges dans la dernière saison (2017), qui n'a pas encore d'orthophotos disponibles. La partie ouest de ces secteurs hébergeait une plantation similaire depuis 2010, mais la saison dernière a été étendue aux trois secteurs.

Si on observe l'ensemble des images, toutes-elles montrent trois zones avec des problèmes de drainage. La première est la vallée qui longe la partie supérieure de la succession. Toute l'eau qui n'est pas profitée pas au sommet de la parcelle, ira sur ce canal et pourrait causer des

inondations.

Dans cette unité d'irrigation, de la végétation moins dense se distingue aussi dans le coin nord-ouest et le centre du terrain. Dans l'unité d'irrigation 101-A il semble généralement que la culture est en meilleur état et la plupart de la surface; il semble qu'il y ait une plus grande homogénéité.

Si on étudie un peu plus en profondeur la conception des secteurs d'irrigation, il semble que le technicien qui l'a conçue a également cherché rendre les secteurs aussi régulière que possible et isoler les zones plus raides. On observe cela dans les secteurs 4B et 3A. Cela pourrait être à cause du fait que, de cette façon, on pourrait modifier le cadre au 12x15 m en quinconce pour avoir une bonne uniformité si elle n'a pas été atteinte avec le cadre standard. En fin de la conception, l'ensemble de la parcelle conserve le cadre 15x18 m d'origine. Il faut aussi souligner que le coin nord-est à une zone assez faible a également été isolé dans un secteur d'irrigation unique (6A).

La conception a été exécutée en son temps pour obtenir une bonne uniformité de l'irrigation, tout à fait correctement isolés des zones à fortes pentes et les points les plus bas de l'intrigue. D'autre part, la vallée traverse également les secteurs 7B, 4A et 3A, mais pas affecté toute la surface.

Tableau 6 : Budget original de l'UR-101. Source : A. Nieves [Comunicación personal]. 30 mai 2017

			PRESUPUESTO INICIAL (2008)		
			Medición	Precios	Presupuesto
MOVIMIENTO DE TIERRAS	m	APERTURA DE ZANJA PARA PVC/PE EN COBERTURAS	2.463,00	1,14	2.807,82
	m	APERTURA DE ZANJA PARA PVC EN COBERTURAS ASIENTO GRAVILLA	0,00	1,55	
	Ud.	HOYO PARA ASPERSOR	375,00	1,36	510,00
	m	COLOCACION TUBERIA POLIETILENO	4.618,00	0,38	1.754,84
TUBERÍAS	m	TUBERIA DE PVC ø 40 mm. - 0.6	32,00	0,60	19,20
	m	TUBERIA DE PVC ø 50 mm. - 0.6	0,00	0,84	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 63 mm. - 0.6	544,00	1,15	625,60
	m	TUBERIA DE PVC ø 75 mm. - 0.6	345,00	1,60	552,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 90 mm. - 0.6	63,00	2,19	137,97
	m	TUBERIA DE PVC ø 110 mm. - 0.6	1.108,00	2,55	2.825,40
	m	TUBERIA DE PVC ø 125 mm. - 0.6	42,00	3,24	136,08
	m	TUBERIA DE PVC ø 140 mm. - 0.6	0,00	4,06	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 160 mm. - 0.6	0,00	5,18	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 180 mm. - 0.6	0,00	7,07	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 200 mm. - 0.6	0,00	8,59	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 250 mm. - 0.6	0,00	11,76	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 110 mm. - 1	317,00	3,71	1.176,07
	m	TUBERIA DE PVC ø 125 mm. - 1	0,00	4,76	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 140 mm. - 1	0,00	5,84	0,00
	m	TUBERIA DE PVC ø 160 mm. - 1	0,00	7,52	0,00
	m	TUBERIA DE POLIETILENO	5.324,00	0,67	3.567,08
CONEXIÓN DE HIDRANTE, VALVULERÍA Y DESAGÜES	Ud.	CONEXIÓN 80/100mm	2,00	436,43	872,86
	Ud.	DESAGÜE DE SECTOR ø 50 mm.	18,00	18,80	338,40
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 3" SIMPLE (80 mm)	4,00	336,66	1.346,64
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 3" DOBLE (80 mm)	5,00	604,10	3.020,50
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 4" SIMPLE (100 mm)	0,00	477,18	0,00
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 4" DOBLE (100 mm)	0,00	834,57	0,00
	Ud.	VALVULA HIDRAULICA 6" SIMPLE		1.274,15	0,00
	Ud.	VALVULA MAESTRA 3"	2,00	273,46	546,92
	Ud.	VALVULA MAESTRA 4"	0,00	324,45	0,00
	Ud.	COMPLEMENTO VÁLVULA HIDRÁULICA 80 ó 100 mm	4,00	146,50	586,00
	Ud.	PILOTO REGULADOR DE PRESION	12,00	76,30	915,60
	Ud.	VÁLVULA REGULADORA 3/4 "		35,00	
ASPERSORES	Ud.	ASPERSOR CIRCULAR C.E.	289,00	15,00	4.335,00
	Ud.	ASPERSOR SECTORIAL 1000 L/H	86,00	20,41	1.755,26
	Ud.	CHAPA PROTECTORA EN ASPERSOR	0,00	4,26	0,00
PROGRAMADORES Y AUTOMATISMOS	Ud.	PROGRAMADOR ELECTRONICO HASTA 12 SECTORES	2,00	1.070,56	2.141,12
	Ud.	PROGRAMADOR ELECTRONICO HASTA 18 SECTORES. 2 MOTORES	0,00	1.097,29	0,00
	Ud.	SOLENOIDE TIPO LATCH	14,00	71,31	998,34
	Ud.	SOLENOIDE METALICO	4,00	98,77	395,08
FERTIRRIGACIÓN	Ud.	BOMBA INYECTORA 200 L/H 0.6 Mpa	0,00	629,17	0,00
SEGURIDAD Y SALUD	Ha	SEGURIDAD Y SALUD			0,00
MATERIALES Y TRABAJOS EXTRAS	Ud.	TOMA DE PRESIÓN ADICIONAL	1,00	58,00	58,00
	Ud.	PILOTO REDUCTOR DE PRESIÓN EN ESTÁTICA DIAM 3/4" (incluido filtro metalico y accesorios)	1,00	133,90	133,90
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL			PEM		31.555,68
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA			PEC		42.095,28
PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO DE LA PROPIEDAD			PCP		45.041,95

Le budget initial était 45,041.95 €, ce qui représente 5.210 € / ha. L'équipement de cette parcelle est plus cher que le précédent car il est plus irrégulière et réalise donc un coût supplémentaire de matériel.

On a décidé ne pas concevoir une nouvelle resectorisation pour l'UR-101, parce qu'elle résoudre efficacement la parcelle et dans le isole également M-1, M-2, M secteurs -3 et M-6 zones présentant des problèmes de drainage.

Bien qu'il ne fera pas une nouvelle resectorisation pour l'unité d'irrigation, il a été décidé de proposer une solution pour la région de la vallée. C'est proposé l'installation d'une série de drains dans la partie nord de la parcelle pour évacuer l'eau sur le canal situé au nord de la parcelle. Comme le sol est assez lourd, à savoir, très argileux, les drains souterrains se placent relativement en surface. Dans la zone on a déjà installé des drains semblables de sorte que la génératrice supérieure du tuyau soit enterrée à 60 cm de profondeur par rapport à la surface du terrain.

Avec cette profondeur, il ne faudrait pas modifier le réseau d'irrigation pour installer les drains parce que les tuyaux d'irrigation sont enterrés plus profondément. De plus, à cette profondeur, elle n'est pas touchée par les labours quotidiens de l'agriculture. À titre d'exception, peut-être des outils qui s'utilisent pour préparer le sol en profondeur pour l'implantation des vignes, mais c'est une tâche qui n'est pas habituelle.

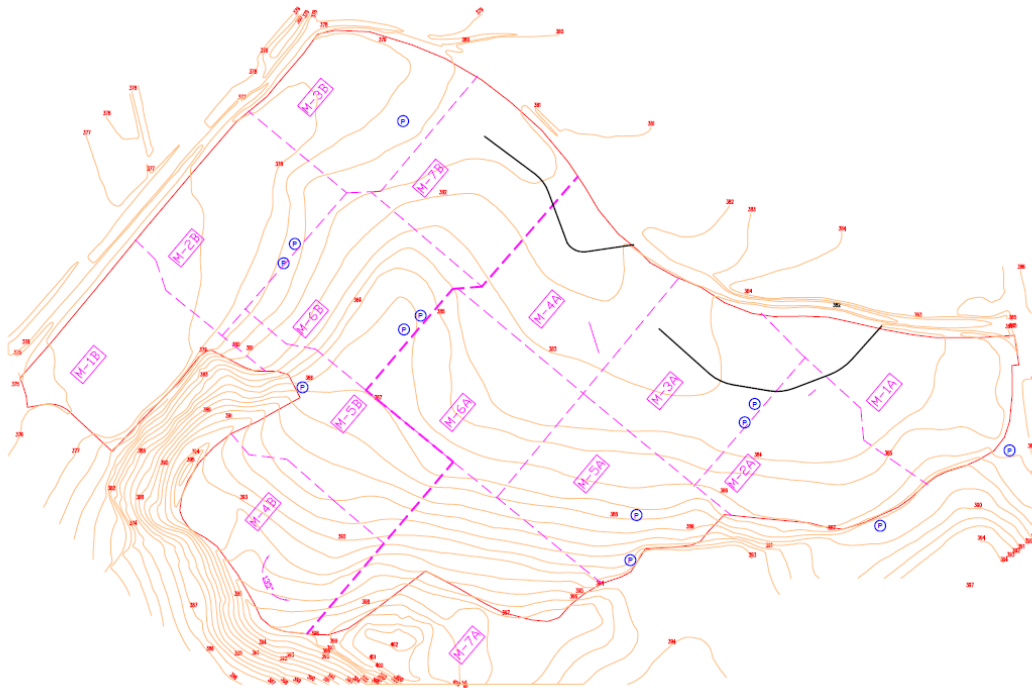


Figure 25 : Sectorisation de l'UR-101 avec le parcours en noir. Source: Élaboration personnelle

On installera un type de drainage enterré de diamètre 160mm DP 240 °. Ces drains ont quatre fentes réparties à 240° vers le haut. La zone perforée porte l'absorption d'eau et la zone non perforées et facilite le transport d'eau drainée. (Plomydren, 2016)

Comme c'est précisé dans les projets chez INTIA, le placement de drains dans ce travail est:

Set drainage souterrain formé par l'excavation de la pente de 40 cm de large réalisée avec un niveau de laser sur la base de la tranchée spécifiée par la gestion du site, de non-tissé couverture géotextile 120gramos / m2 avec des valeurs porométrie ISO 12956 entre 70 et 80 µm impliquant avec un chevauchement de 50 cm de diamètre 160mm tuyau polyéthylène perméable ondulée et fendue de type DP avec des perforations dans 360 placés sur un lit de 10 cm grains avec une granulométrie de 3 à 5 cm et 30 cm sur elle-même recouverte de la génératrice supérieure du géotextile se chevauchant 10cm



épaisseur en gravier de celui-ci et le reste pour atteindre la tranchée couronnement couvre avec le sol de l'excavation. Placé et testé. (INTIA, 2015)

Le mètre linéaire de ces conditions de drainage à un coût unitaire de 7,99 €. (INTIA, 2015)

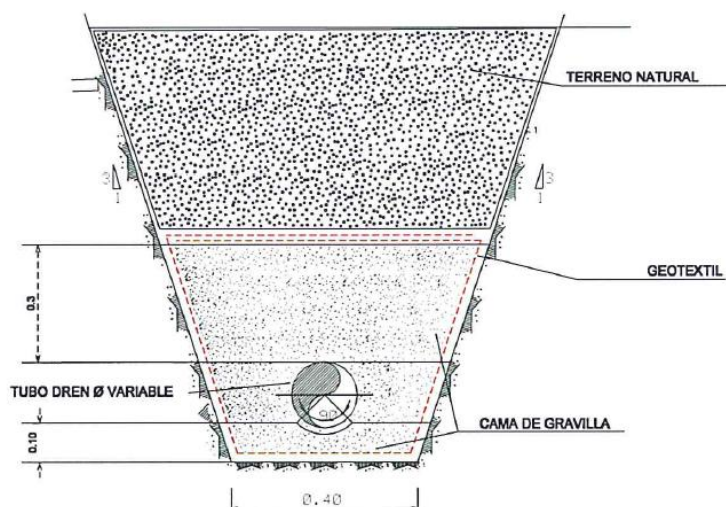
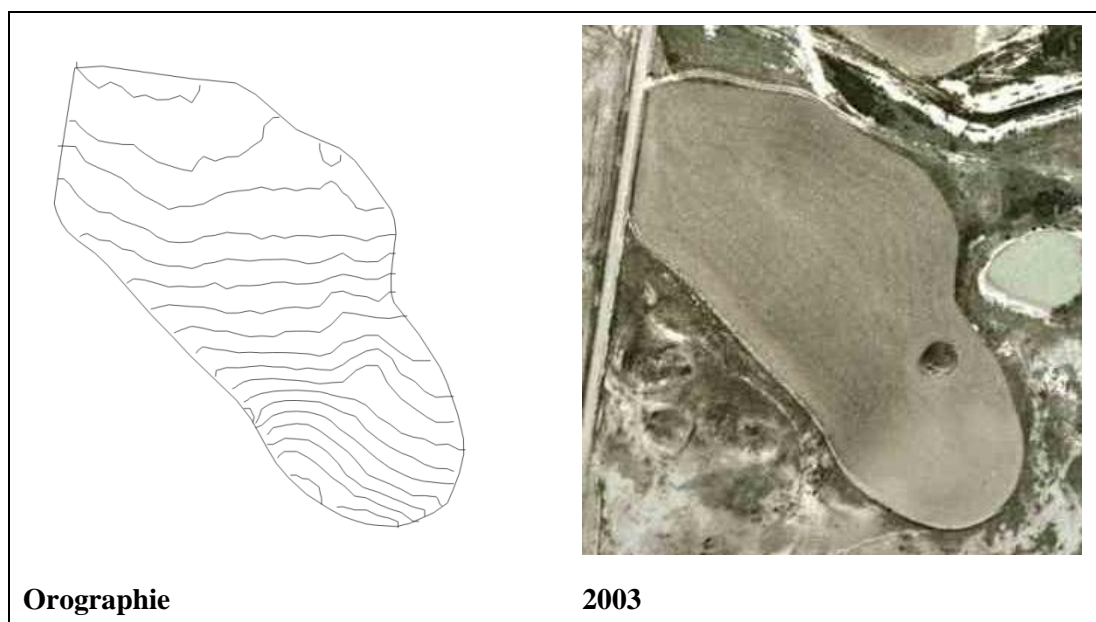


Figure 26 : Schéma de la section transversale du drainage sur terrain. Source : INTIA, 2015

Selon la conception de drainage fait, ils doivent être placés 275m des drains dans la parcelle, ce qui coûterait 2.197,25 €. Si elles sont ajoutées au budget total de la parcelle d'irrigation, le coût total de l'installation revient à 47.239,2 €. Exprimée en unité, il serait 5.464,14 € / ha, ce qui représente une augmentation de 4,87%.

## UR-49

### Analyse des orthophotos de l'UR-49



Orographie

2003



**2005**



**2006**



**2008**



**2009**



**2010**



**2011**



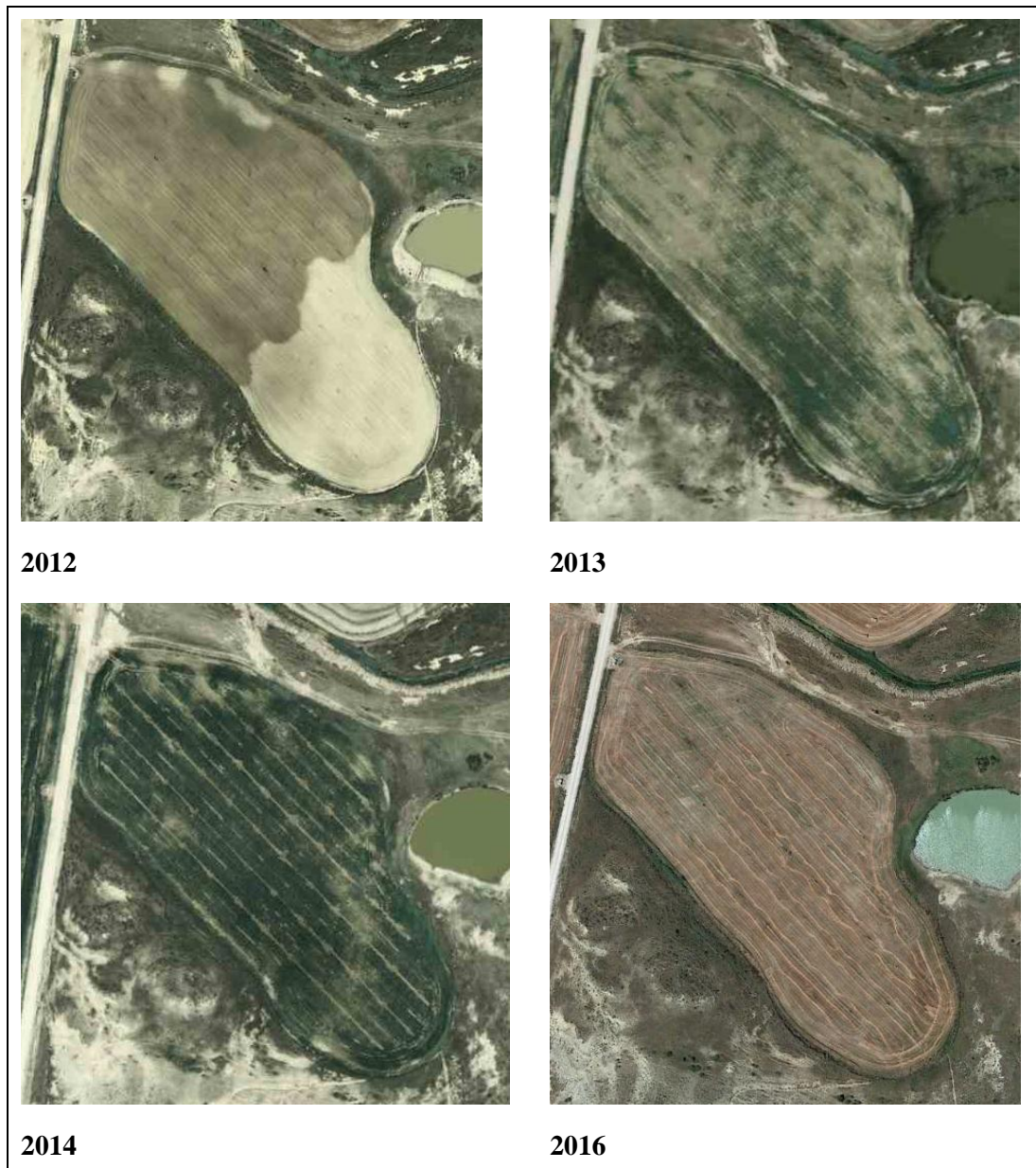


Figure 27 : Rélation des orthophotos disponibles de l'UR-49. Source : SITNA, 2013

L'UR-49 a une direction de pente constante au long des lignes des arroseurs. Le point le plus élevé est de 356 m dans le bord sud-est de la parcelle et le point le plus bas dans le sommet opposé 348 m. La seule partie qui dérange est en attente est l'île que jusqu'en 2008 n'a pas été cultivé dans la partie la plus proche au radeau. Le terrain est divisé en trois secteurs d'irrigation qui sont alimentés par la même prise d'eau, situé dans le coin nord-ouest, à côté de la route.

Près de la prise d'eau, il y a quelques années observées (2006, 2009, 2010 et 2013) qui sont pries, bien qu'il peut être parce qu'il y est l'entrée de la parcelle et le sol est plus compact. En revanche, les années restantes pas de taches importantes sont observées dans cette zone.

Un autre modèle qui se répète montre des taches autour du point le plus haut de la parcelle. En 2006, sur la photo la partie nord de l'île semble inculte présente de faibles rendements à proximité du radeau. Une situation similaire est observée dans les années 2009, 2010, 2013 et 2014, bien que dans ce dernier un peu moins perceptible

La conception proposée pour la (figure 6) UR-49 est une conception simple pour un terrain simple en termes de pente et la forme. En outre, le secteur 2, qui est au milieu, limite la partie

avec de meilleurs rendements du terrain tandis que les secteurs 1 et 3, en particulier celui-ci, semblent orthophotos plus irréguliers en termes de rendement.

Pour ces raisons, on ne va appliquer une resectorisation à l'UR-49 pour l'améliorer, car il est petit et a un design qui lui divise en secteurs homogènes dans tous ses aspects parcelle.

### Analyse de résultats

Dans l'ensemble des trois parcelles étudiées, ils ont été obtenus trois résultats différents. Dans l'UR-29 on a fait une resectorisation de la parcelle en priorisant l'isolation des zones avec un mauvais drainage et par conséquent, le budget augmente un 5,10%.

Dans le cas de l'UR-101 la sectorisation originale a été étudiée et on a conclu qu'elle, en partie, résolve le problème de drainage aussi d'être un bon choix pour un terrain compliqué. Par conséquent, il a été décidé d'installer un drain pour évacuer l'eau d'une part, et a conclu que l'installation a augmentait un 4,87% le budget.

Enfin, l'UR-49 aucune modification est effectuée, car on ne croit pas nécessaire parce que l'intrigue n'a pas beaucoup de secteurs de surface et de l'irrigation font une bonne division de la parcelle.

## Conclusions

- La meilleure alternative pour identifier les zones avec un mauvais drainage dans les unités d'irrigation est l'analyse visuelle des orthophotos. Les satellites offrent un grand volume d'images avec beaucoup d'informations, mais à l'échelle sur laquelle on voulait travailler ils n'ont pas une résolution spatiale suffisante.
- Dans les parcelles plus grandes et régulières les données des satellites LANDSAT pourraient être utilisées. Ces images sont disponibles dans GEE et cette application fournit un modèle informatique adapté à un utilisateur qui possède des compétences informatiques de base et le traitement d'images.
- Une autre alternative pour obtenir des images de bonne qualité des parcelles pourrait être l'utilisation des drones. Cette technologie permet de prendre des images aériennes des cultures plus fréquemment que les vols en l'avion et peut être utile pour les groupes d'agriculteurs pour des autres fins comme établir une surveillance aérienne des cultures.
- Quand on sectorise les parcelles en fonction des zones avec un drainage plus faible est plus facile que les secteurs d'irrigation ont des formes irrégulières et des flux plus hétérogènes, ce qui rend des diamètres plus grands dans la conduction principale.
- Le coût total de l'installation d'irrigation par aspersion est plus coûteux si on sectorise la parcelle en fonction des zones avec un mauvais drainage ou si un drain est installé.
- Une alternative viable pour résoudre les problèmes de drainage dans les parcelles où le système d'arrosage est déjà installé est l'installation de drains en profondeur. Si le sol est argileux il ne faut même pas modifier le système de canalisations.
- Avec les critères de conception actuels, on offre une sectorisation pratique et simple. Cela permet de travailler plus rapidement et concevoir des parcelles avec une méthodologie vite. De plus, l'intégration des méthodes pour délimiter des zones avec des ressources pauvres de drainage implique un investissement un peu important de temps et de ressources qui accroîtrait l'investissement initial.
- Il faudrait une étude plus détaillée sur la hausse des rendements de la parcelle avec et sans ces conceptions proposées pour voir si c'est intéressant de sectoriser les parcelles compte tenu de zones avec des problèmes de drainage.

## Bibliographie

- INTIA. (2015). *Proyecto de red de distribución interior en parcelas del sector XXIV de la ampliación de la 1ª fase del Canal de Navarra*. Pamplona: INTIA.
- INTIA. (2014). *Unidades de riego del sector III del Canal de Navarra*. Pamplona: INTIA.
- USGS. (2016). *Landsat Project Description*. Recuperado de <https://landsat.usgs.gov/landsat-project-description>.
- NASA. (2017) a. *Terra: the EOS Flagship*. Recuperado de <https://terra.nasa.gov/>.
- NASA. (2017) b. *Aqua Earth-observing satellite mission*. Recuperado de <https://aqua.nasa.gov/>.
- NASA. (2017) c. *MODIS, moderate resolution imaging spectroradiometer*. Recuperado de <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
- ESA. (2015). *What is copernicus?*. Recuperado de <http://www.copernicus.eu/main/overview>
- Sentinel-1Team. (2013). *Sentinel-1 User Handbook*. Recuperado de [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook)
- ESA. (2017). *Sentinel home*. Recuperado de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>
- SITNA. (2013). *Geoportal de Navarra*. Recuperado de <http://sitna.navarra.es/geoportal/?lang=>
- Google Earth Engine. (2017). *Google Earth Engine API*. Recuperado de <https://developers.google.com/earth-engine/>
- WCADI. (2017). *WCADI home*. Recuperado de <http://wcadi.org/>
- IDENA. (2017). *Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra*. Recuperado de <http://idena.navarra.es>
- Plomydren. (2016). *Tubos corrugados de doble pared de PE y PP para drenaje*. Recuperado de [http://www.plomyplas.cn/images/archivos/manual\\_plomydren.pdf](http://www.plomyplas.cn/images/archivos/manual_plomydren.pdf)